Ueber die Wärmeleitfähigkeit von Alkoholdampf, Wasserdampf und Benzoldampf bei niederem Druck.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der Hohen Philosophischen Fakultät

der

Vereinigten Friedrichs-Universität Halle-Wittenberg

vorgelegt von

Katharina Putzki

aus **Trachenberg** (Prov. Schlesien).

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

Halle (Saale)
Buchdruckerei Hohmann
1917.

Tag der mündlichen Prüfung: 13. Dez. 1916.

Referent: Prof. Dr. K. E. F. Schmidt.

Meinen Eltern.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41534918_0034

Inhaltsverzeichnis.

		Seite
1.	Einleitung	7
2.	Beschreibung der Methode und der Apparate	10
3.	Maße der Apparate	12
4.	Versuchsanordnung	13
5	Theoretisches	18
6.	Strahlung	19
7.	Reinigung der Substanzen	19
8.	Versuche mit Alkoholdampf	22
9.	Versuche mit Wasserdampf	27
10.	Versuche mit Benzoldampf	30
11.	Korrektionen	33
12.	Ergebnis	35
13.	Vergleich von Ergebnis und Theorie	38

1. Einleitung.

Die Schleiermachersche Methode[1]) zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit gasförmiger Substanzen wurde im Physikalischen Institut der Universität Halle wiederholt mit gutem Erfolg angewendet. Es wurde nach dieser Methode der Wärmeleitungskoeffizient ein- und mehratomiger Gase, auch verschiedener Gasgemische bestimmt. Zugleich wurde untersucht, inwieweit die von der Theorie aufgestellten Gesetze durch das Experiment bestätigt werden. Es besteht nämlich nach der kinetischen Gastheorie zwischen dem Wärmeleitungskoeffizienten k, dem Reibungskoeffizienten η und der spezifischen Wärme bei konstantem Volumen c_v eines Gases die Beziehung:

$$k = f \cdot \eta \cdot c_v,$$

wobei f einen Zahlenfaktor darstellt. Infolge der Ungewißheit über die Beteiligung der intramolekularen Energie bei der Wärmeleitung eines Gases bestehen über die Größe des Faktors f verschiedene Hypothesen:

Bei der Annahme, die Maxwell seinen Untersuchungen zugrunde legte, daß die intramolekulare Energie bei der Wärmeleitung ebenso schnell fortgeleitet wird wie die fortschreitende, ergibt sich f als ein für alle Gase gleicher, konstanter Wert, den Boltzmann[2]) zu $f = 2{,}5$ berechnete. O. E. Meyer[3]) stellte

[1]) Schleiermacher, Wied. Ann. 34, 1888, 623.
[2]) Boltzmann, Pogg. Ann. 1876, Bd. 157, 457.
[3]) O. E. Meyer, Kinet. Th. der Gase, 2. Aufl. 1899, S. 285.

f durch ein Integral dar, das nach Neugebauers Berechnung den Wert $f = 1{,}6027$ ergibt. Daß aber von einer Konstanz von f für alle Gase durchaus keine Rede sein kann, wurde durch die bisherigen experimentellen Untersuchungen erwiesen.

Der Wirklichkeit näher zu kommen schien daher eine Annahme Boltzmanns[1]), daß die intramolekulare Energie an der Wärmeleitung vollständig unbeteiligt sei, diese nur von der fortschreitenden Energie der Moleküle abhinge. Boltzmann[2]) fand nämlich auf Grund dieser Hypothese für f einen von der Natur der einzelnen Gase abhängigen Wert: $\frac{15}{4}\left(\frac{c_p}{c_v} - 1\right)$. Für einatomige Gase nimmt f nach der Boltzmannschen Formel den Wert 2,5 an, der auch in der Tat für eine Anzahl einatomiger Gase experimentell bestätigt wurde. W. Schwarze[3]) fand für Argon und Helium $f = 2{,}5$, E. Bannawitz[4]) für Neon ebenfalls den Wert $f = 2{,}5$. Für mehratomige Gase konnte aber auch auf Grund dieser Hypothese Boltzmanns keine Uebereinstimmung zwischen Theorie und Experiment festgestellt werden. Jedenfalls erhielt Günther[5]) nach seinen Beobachtungen über das Wärmeleitungsvermögen von Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff und E. Ziegler[6]) nach seinen Beobachtungen von Aethan und Methan für f bedeutend höhere Werte, als sich nach der Boltzmannschen Formel ergeben. Ebenfalls zeigte der für die Gemische von Argon und Helium nach den Beobachtungen von I. Wachsmuth[7]) berechnete Wert f einen erheblichen Unterschied gegen den nach der theoretischen Formel berechneten. Es wurde hieraus geschlossen, daß die intramolekulare Energie bei der Wärmeleitung nicht vollständig unbeteiligt sein könne, daß ihr vielmehr ein gewisser, wenn

---

[1]) a. a. O.

[2]) a. a. O.

[3]) W. Schwarze, Inaug.-Diss., Halle, 1902 u. Beibl. z. d. Ann. der Phys. 1903, Bd. 27, 442.

[4]) E. Bannowitz, Inaug.-Diss., Halle, 1914.

[5]) P. Günther, Inaug.-Diss., Halle, 1906.

[6]) E. Ziegler, Inaug.-Diss., Halle, 1906.

[7]) J. Wachsmuth, Inaug.-Diss., Halle, 1907

auch bedeutend geringerer Anteil an der Wärmeleitung zukomme, als Maxwell angenommen hatte.

In neuerer Zeit ergaben Untersuchungen Chapmans[1]) über die Größe des Faktors f für sphärisch-symmetrische Moleküle mit nur translatorischer Energie, also für einatomige Gase, den Wert $f = 2{,}5$, der ja, wie oben erwähnt wurde, für Argon, Helium und Neon bestätigt wurde.

Allgemeinere Untersuchungen über die Größe des Faktors f und seine Beziehung zu den Eigenschaften der Gase wurden von A. Eucken[2]) angestellt. Entgegen der Ansicht v. Smoluchowskis[3]), daß f eine individuelle Konstante eines jeden Gases darstelle, vertritt Eucken den Standpunkt, daß f allein eine Funktion der Freiheitsgrade oder des Energieinhalts des Moleküls sei. Er betont, daß sich die Energie eines Moleküls im allgemeinen zusammensetzt aus Translations-, Rotations- und Schwingungsenergie und stellt daraufhin für f die folgende Formel auf:

$$f \cdot c_v = f_t \cdot c_t + f_r \cdot c_r + f_s \cdot c_s,$$

wobei er unter c_t, c_r, c_s den Anteil der Trauslations-, Rotations- und Schwingungsenergie an der spezifischen Wärme, unter f_t, f_r, und f_s die diesen entsprechenden Zahlenfaktoren f versteht. Voraussetzung für die Euckensche Theorie ist vollständiger Energieaustausch der Moleküle beim Zusammenstoß. Außerdem ist eine exakte Berechnung von f_s und damit natürlich auch von f nur möglich, wenn der Bau der betreffenden Moleküle, die Lage der einzelnen Schwingungen und ihr Anteil an der Gesamtenergie genau bekannt sind. Eine Berechnung des Faktors f, die mit der Erfahrung übereinstimmende Werte liefert, nach der Euckenschen Formel wird sich daher erst ermöglichen lassen, wenn die Theorie der Gase in bezug auf die Schwingungsvorgänge der Moleküle und deren Gestalt genauen Aufschluß geben kann. Vorläufig wird man die aus den experimentellen Untersuchungen sich ergebenden Werk

[1]) S. Chapman, Phil. Trans. Ser. A. 211, 1911, S. 433.
[2]) Physik. Zeitschr. XIV., 1913, S. 325,
[3]) Ann. d. Phys. IV., Bd. 35, 1911, S. 985.

von f den aus irgendeiner theoretischen Formel berechneten stets vorzuziehen haben.

Zur Erweiterung des Zahlenmaterials wurden, wie schon oben erwähnt, im Physikalischen Institut der Universität Halle seit dem Jahre 1902 Untersuchungen über das Wärmeleitvermögen der verschiedensten gasförmigen Substanzen nach der Schleiermacherschen Methode ausgeführt. Im Anschluß an diese unternahm ich es, auf Veranlassung und mit steter gütiger Unterstützung des Herrn Professor Dr. E. Dorn, die Wärmeleitfähigkeit von Alkohol-, Wasser- und Benzoldampf bei niederem Druck zu untersuchen.

2. Beschreibung der Methode und der Apparate.

In der Achse eines Glasrohrs, in welches Gas von beliebigem Druck eingeführt werden kann, ist ein Metalldraht ausgespannt, der durch einen elektrischen Strom erwärmt wird. Wenn die äußere Wand des Glases auf konstanter Temperatur gehalten wird, wird die Temperatur des Drahtes stationär. Es wird dann sämtliche vom Strom im Draht erzeugte Wärmemenge durch Leitung und Strahlung fortgeführt.

Aus dem Widerstande des Drahtes und der Stromstärke kann diese Wärmemenge nach dem Joule'schen Gesetz berechnet werden, und man erhält durch Subtraktion der durch besondere Versuche zu ermittelnden Strahlung die nur durch Leitung übertragene Wärme.

Aus dem Drahtwiderstand läßt sich noch mit Hilfe des Temperaturkoeffizienten der Widerstandsänderung im Metalldraht die gegenüber der Badtemperatur eingetretene Temperaturerhöhung des Drahtes berechnen.

Und es kann nunmehr, da die Konstanten des Apparates bekannt sind, aus diesen, der durch Leitung übertragenen Wärme und der Temperaturerhöhung des Metalldrahtes gegen-

über der Badtemperatur der Wärmeleitungskoëffizient des Gases berechnet werden.

Zu meinen Versuchen benutzte ich zuerst die von E. Bannawitz[1]) als I und III bezeichneten Apparate, von denen I von W. Schwarze im Jahre 1901, III von Bannawitz 1913 hergestellt worden war. Beide Apparate waren mit Platindrähten versehen. Bei der zur Heizung der Zuleitungsröhren zu den Apparaten nötigen Umwicklung dieser Röhren mit Nickeldraht[2]) erlitt Apparat I eine Beschädigung. Er mußte, nachdem mehrere Versuche, ihn wiederherzustellen, fehlgeschlagen waren, durch den von E. Bannawitz gebauten und von ihm mit IV bezeichneten Apparat ersetzt werden, dessen Draht aus Nickel und einer Legierung von Platin und Nickel bestand. Ich bezeichne die von E. Bannawitz mit I, III, IV bezeichneten Apparate entsprechend mit Ia, I und II. Die Beschreibung der Apparate entnehme ich der Dissertation E. Bannawitz's: „Durch Löten wurde ein Nickeldraht *aa'* [3]) an einem Ende mit einer Stahldrahtspirale *S* und diese und das andere Ende mit je einem 5 cm langen und 1 mm dicken Stück *bb'* der Metallegierung „Ersatz-Platin" verbunden. Innerhalb *S* lag eine Kupferspirale *s*, die den Hauptteil der Stromleitung zwischen den Drähten übernahm. An beiden Enden wurde noch ein Stück Platindraht *cc'* von ungefähr 1 cm Länge angelötet. Das Ganze wurde alsdann längs der Achsenrichtung in eine Glasröhre *GG'* eingeschmolzen, derart, daß die aus der Legierung bestehenden Drahtstücke durch das Glas führten. Die Stahldrahtspirale war leicht gedehnt und hielt bei den durch Temperaturwechsel eintretenden Längenänderungen des Drahtes denselben stets in der Röhrenachse gespannt. Als Lötmetall diente eine Silberlegierung. Die Elektroden *dd'*, dünne, an einem Ende galvanisch vergoldete Nickeldrähte, wurden mit dem Hauptdraht verlötet, indem man das vergoldete Ende um letzteren einmal herumschlang und diesen durch einen galva-

[1]) a. a. O., S. 14.
[2]) Vergl. „Versuchsanordnung", S. 13.
[3]) Fig. 1.

nischen Strom erhitzte. Um eine hierbei eintretende Oxydation des Nickels, die ein Löten verhindert hätte, zu vermeiden, mußte ich jene Operation in einer Wasserstoffatmosphäre vornehmen. Das andere Ende der Elektroden war mit einem Stück „Ersatz-Platin“ *ee'* verbunden, und an diese schlossen sich kurze Platindrähte *ff'* an. Die Drahtstücke der Legierung wurden wiederum in das Glas eingeschmolzen. Nach schließlicher Anbringung von Ansatzröhren *g* über die aus dem Apparate herausragenden vier Drahtenden zwecks Aufnahme von Quecksilber und eines Gaszuleitungsrohres *h* war der Bau des Apparates vollendet.

Die kurzen, außerhalb des eigentlichen Apparates angelöteten Platinstücke hatten den Zweck, eine gute Verbindung der im Apparat befindlichen Drähte mit dem Quecksilber herzustellen. Es zeigte sich nämlich, daß die beim Einschmelzen in Glas unvermeidliche Oxydation des „Ersatz-Platin“ eine Amalgamierung desselben unmöglich machte, die übrigens auch dadurch nicht zu erreichen war, daß man die herausragenden Enden vorsichtig blank feilte. Der Kontakt mit dem Quecksilber war äußerst schlecht und konnte nur auf die angegebene Weise hergestellt werden.

Die ziemlich schwierige Glasbläserarbeit lag in den Händen des Herrn O. Reinhard, Vertreter der Glasinstrumentenfabrik F. O. R. Götze, Leipzig.

Bei den Platindrahtapparaten ist das Nickel jedesmal durch Platin von entsprechender Dicke, die Metallegierung durch einen stärkeren Platindraht ersetzt. Die außerhalb des Apparates angelöteten Platindrahtstücke kommen in Wegfall.“

3. Maße der Apparate.

Die Werte für die Maße der Apparate entnahm ich der Dissertation des Herrn E. Bannawitz.[1]) Die Widerstände bei 0^0 und die Temperaturkoeffizienten α der Widerstandsänderung

[1]) a. a. O., S. 14.

in den Platindrähten von Apparat Ia und I waren unmittelbar, bevor ich mit meinen Vorversuchen begann, von Herrn K. Ebeling beobachtet und berechnet worden. Herr Ebeling stellte mir liebenswürdiger Weise diese, wegen seiner Einberufung zum Heeresdienst vorläufig noch unveröffentlichten Werte zur Verfügung.

Für Apparat II habe ich w_0 neu bestimmt. Ebenso bestimmte ich den Widerstand des Metalldrahts für Zimmertemperatur und 100°. Die Werte stimmten gut mit den von E. Bannawitz beobachteten überein. Es konnte deshalb der Temperaturkoeffizient α der Widerstandsänderung im Metalldraht des Apparat II von Herrn Bannawitz übernommen werden.

Die Maße der Apparate sind in Tabelle I[1]) zusammengestellt.

Die Temperaturkoeffizienten α haben die Werte:

$$\begin{aligned} \alpha_{\text{Apparat Ia}} &= 0{,}0020984 \\ &\quad - 0{,}0000003204 \cdot t \\ \alpha_{\text{Apparat I}} &= 0{,}0039658 \\ &\quad - 0{,}000000537 \quad t \\ \alpha_{\text{Apparat II}} &= 0{,}0046972 \\ &\quad + 0{,}00000623 \cdot t \end{aligned}$$

4. Versuchsanordnung.

Die beiden Apparate hingen an Stativen befestigt horizontal nebeneinander in einem Weißblechkasten, der zur Aufnahme des Bades von konstanter Temparatur bestimmt war. Damit Erschütterungen während der Versuche möglichst vermieden wurden, befand sich dieser auf einem Tisch, der auf einer auf das Kellergewölbe des Instituts aufgemauerten Platte stand.

Erwärmt wurden die Bäder durch bequem regulierbare Gasbrenner. Um möglichst konstante Badtemperaturen zu erhalten, wurde das Bad durch eine Wasserschnecke, die durch eine an die Wasserleitung angeschlossene Turbine getrieben

[1]) s. S. 14.

Tabelle I.

Apparat		Ia	I	II
Länge des Drahtes in	mm	420,2	451,543	441,72
Zwischen den Elektroden	„	336,48	331,83	329,56
Durchmesser des Drahtes	„	0,4038	0,3902	0,34674
Länge der Elektroden	„	15,0 u. 31,0	21,0 u. 14,0	33,0
Durchmesser derselben	„	0,1	0,1	0,09
Lichter Röhrendurchmesser	„	23,710	13,663	21,440
Dicke der Glaswand	„	0,849	1,199	1,280
Widerstand w_0 bei 0^0 in Ohm.		0,46962	0,26380	0,29972

wurde, von Beginn der Erwärmung an und während der Versuche kräftig gerührt.

Zu den Vorversuchen, d. h. den Widerstandsmessungen der Metalldrähte und den Strahlungsversuchen, wurde die Apparatur unverändert beibehalten, wie sie früher zu den Wärmeleitungsversuchen der Gase verwendet worden war:

Zwischen den Apparaten, deren Zuleitungsrohre in ein Rohr *b* [1]) mündeten, und der Töpler-Hagenschen Quecksilberpumpe waren eingeschaltet: ein Phosphorpentoxydrohr *c*, ein mit Blattgold *d* und ein mit Silberdrehspänen gefülltes Rohr *e*, ein Geißlersches Spektralrohr *f* und ein mit Kokosnußkohle gefülltes Rohr *g*.

Zu den Hauptversuchen mußte die Apparatur umgebaut werden: die Apparate waren bisher durch die Hähne *i* und *i'* [1]) abgeschlossen worden, die sich in den Zuleitungsröhren zu den Apparaten dicht über der Oberfläche des Bades befanden Nun mußte aber zu den Wärmeleitungsversuchen mit Alkohol- und Benzoldampf statt des gewöhnlichen Hahnfettes eine Gummipaste zur Dichtung der Hähne verwendet werden, die schon bei geringer Erwärmung undicht wurde. Es erwies sich daher als zweckmäßig, die Hähne *i* und *i'*, die der Erwärmung durch den aus dem Bade aufsteigenden Wasserdampf stark ausgesetzt waren, zu entfernen und durch Hahn I [2]) im Rohr *b*, der dann beide Apparate gleichzeitig abschloß, zu ersetzen. An das Rohr *b* schloß sich das mit Phosphorpentoxyd gefüllte, n-förmig gebogene Rohr *e* an. Das Phosphorpentoxyd war, um ein Versacken zu vermeiden, mit ziemlich großen Glasperlen gut untermischt worden. Die Verbindung zwischen dem Phosphorpentoxydrohr und der Quecksilberpumpe wurde hergestellt durch das mit echtem Blattgold *f* und das mit Silberdrehspänen gefüllte Rohr *g*, welche beide die Quecksilberdämpfe von den Apparaten fernhalten sollten. Die Rohre *e*, *f* und *g* waren gegen die Apparate, gegeneinander und gegen die Pumpe durch die Hähne IV, V und VI abschließbar. Damit ein gutes

[1]) Fig. II.
[2]) Fig. III.

Vakuum erzielt werden konnte, wurde zwischen Hahn VI und der Quecksilberpumpe das mit Kokosnußkohle gefüllte Rohr *h* und zur Untersuchung des Vakuums das Geißlersche Spektralrohr *i* angebracht. Zwischen Hahn I und Hahn IV befand sich das durch Hahn II abschließbare Ansatzrohr *c*, an welches eine Wasserstrahl- oder Kapselpumpe angeschlossen werden konnte, und der Ballon *d*, der zur Aufnahme der Flüssigkeit diente, deren Dampf untersucht werden sollte.

Da es sich während der Versuche als wünschenswert erwies, die untersuchten Dampfdrucke direkt am Manometer der Pumpe zu messen, das Phosphorpentoxyd aber von den Dämpfen angegriffen wurde, mußte das Phosphorpentoxydrohr entfernt werden. Zuletzt erwies es sich als am zweckmäßigsten, zwischen dem Ansatzrohr *c* und dem Hahn I ein Quecksilbermanometer *k*[1]) anzubringen, das nun bequem die direkte Ablesung der Dampfdrucke während der Einfüllung der Dämpfe in die Apparate gestattete, während doch gleichzeitig der Weg zur Quecksilberpumpe abgeschlossen bleiben konnte.

Damit bei den Versuchen mit Bädern von höherer als Zimmertemperatur die Apparate bis zum Abschlußhahn I auf diese höhere Temperatur erwärmt werden konnten, mußten die Zuleitungsröhren vom Wasserspiegel an bis zum Hahn I mit einer Heizanlage versehen werden. Beide Röhren wurden mit einer hintereinander geschalteten Nickeldrahtumwicklung versehen, die durch einen elektrischen Strom geheizt werden konnte Um eine Temperatur von 40° zu erhalten, genügte ein Strom von 0,65 Amp. Geschützt wurde diese Anlage durch eine Umwicklung mit Asbestpapier.

Im Hauptstromkreis waren außer dem Metalldraht *a*[2]) und der aus zwei Akkumulatoren bestehenden Batterie *b*, die den zu seiner Erwärmung nötigen Strom lieferte, eingeschaltet: eine Wolffsche Widerstandseinheit e_1 die in einem Petroleumbade hing, ein Präzisionsamperemeter *d* von Siemens und Halske und ein Regulierwiderstand *c*. Die Widerstands-

[1]) Fig. IV
[2]) Fig. V.

einheit war in der physikalisch-technischen Reichsanstalt geprüft worden. Ihre Aenderung mit der Temperatur wurde berücksichtigt.

Von den Elektroden des Metalldrahts aus führte eine Abzweigung durch die eine Rolle eines Differentialgalvanometers nach du Bois-Rubens, eine andre ging von der Einheit aus durch die andre Galvanometerrolle. Diese enthielt noch einen von Herrn Professor Dr. Dorn geprüften Kurbelrheostaten aus Manganin. Die Galvanometerrollen wurden in entgegengesetzter Richtung vom Strom durchflossen.

Die Widerstände der Galvanometerrollen wurden mit Hilfe eines einfachen Panzergalvanometers vor und nach jedem Versuch bestimmt, da sie sich mit der Temperatur ändern. Dabei wurde der Kurbelrheostat als Wheatstonesche Brücke verwendet. Die für die Berechnung in Betracht kommenden Werte für die Zeit der Hauptbeobachtungen wurden durch Interpolation berechnet.

In den Stromkreis eingeschaltete Kommutatoren gestatteten, sowohl die Galvanometerrollen zu wechseln, als auch den Hauptstrom zu wenden. So wurden etwa auftretende Thermoströme eliminiert.

Zu den Strahlungsbeobachtungen wurden Stromstärken von 0,04 bis 0,12 A. verwendet, zu den Hauptbeobachtungen Stromstärken von 0,2 bis 0,6 A.

Zu den Wärmeleitungsversuchen der Gase waren bisher stets Badtemperaturen von 0° und 100° angewendet worden. Diese eigneten sich zu den Beobachtungen mit den Dämpfen nicht, da bei einer Badtemperatur von 0° nur sehr geringe Dampfdrucke beobachtet werden können, und bei einer Badtemperatur von 100° die Gefahr des Undichtwerdens von Hahn I [1]) zu groß ist. Es wurden daher zu den Wärmeleitungsbeobachtungen mit den Dämpfen Bäder von Zimmertemperatur und von 40° angewendet.

Sämtliche Hilfsinstrumente wurden vor Beginn der Versuche sorgfältig geprüft, die Thermometer mit dem Hauptnormalthermometer des Instituts verglichen.

---

[1]) Fig. III.

5. Theoretisches.

Zur Berechnung des Wärmeleitungskoeffizienten dient die Formel[1]):

$$k = \frac{L}{u - u'} \cdot \frac{ln\, r_2 - ln\, r_1}{2\,\pi\, l}.$$

Es ist dabei unter L die Differenz $Q - S$ zu verstehen, d. i. die Differenz aus der im Draht pro Sekunde erzeugten und der durch Strahlung fortgeführten Wärmemenge.

Q berechnet sich nach dem Jouleschen Gesetz aus dem Drahtwiderstand w_u und der Stromstärke:

$$Q = 0{,}239 \cdot i^2 \cdot w_u$$

und S ergibt sich aus Tabelle II[2]) durch Interpolation.

Außerdem bedeutet:

u' die Temperatur des Bades,
u die Temperatur des Drahtes,
r_1 den inneren Radius der Röhre,
r_2 den Radius des Drahtes,
l die Länge des Drahtes.

Die Temperatur des Drahtes u erhalte ich aus w_o, dem aus der Beobachtung berechneten w_u und dem Temperaturkoeffizienten α der Widerstandsänderung des Metalldrahtes mittels der Formel:

$$w_u = w_o\,(1 + \alpha \cdot u)$$

Zur Berechnung des Widerstandes w_u des Metalldrahtes wird die von Herrn Professor Dr. Dorn abgeleitete Formel[3]) angewendet:

$$w_u = \Omega^4) \cdot \sqrt{\frac{(w_1 + w')\ (w_2 + w')}{(w_1' + \Omega)\ (w_2' + \Omega)}},$$

wobei zu verstehen ist: unter w_1 und w_2 die Widerstände der Galvanometerrollen, w_1' und w_2' die Summe aus w_1 oder w_2

---

[1]) W. Schwarze, a. a. O., S. 10 u. 11.
[2]) s. S. 20.
[3]) P. Günther, a. a. O., S. 16 u. 17.
[4]) Ω bezeichnet, wie üblich, den Widerstand von 1 Ohm, genauer: den Widerstand der Widerstandseinheit bei der betreffenden Zimmertemperatur.

und der zugehörigen Ablesung am Rheostaten, unter w' ein Näherungswert für den Drahtwiderstand.

6. Strahlung.

Um zuverlässige Werte für die Strahlung der Apparate zu erhalten, mußte besondere Sorgfalt auf die Herstellung eines guten Vakuums verwendet werden. Nachdem die Apparate mit Hilfe der Töpler-Hagenschen Quecksilberpumpe möglichst gut evakuiert waren, wurde Kohle und Silber durch elektrische Heizung mehrere Tage hindurch unter fortwährendem Abpumpen von Luft bis auf 300° erhitzt. Die Apparate selbst lagen gleichzeitig in einem Bad siedenden Wassers, die Drähte wurden wiederholt stark erhitzt Die Heizung der Kohle und des Silbers wurde erst unterbrochen, als das Vakuum sich mit Hilfe der Quecksilberpumpe nicht weiter vervollkommnen ließ. Dann wurden die Apparate mehrere Tage hindurch sich selbst überlassen, um das Dichthalten der Hähne zu prüfen. Zuletzt wurde das Kohle- und Silberrohr in flüssige Luft getaucht und bald darauf mit den Strahlungsversuchen begonnen. Während der Beobachtungen wurde das Vakuum wiederholt durch Anheben der Pumpe geprüft. Es blieb dauernd gut.

Die beobachteten Werte sind in Tabelle II[1]) zusammengestellt. Dabei bedeutet u die Temperatur des Drahtes, u' die des Bades, S die ausgestrahlte Wärmemenge:

$$0{,}239 \cdot i^2 \cdot w_u \frac{gr \cdot cal.}{sec.}.$$

7. Reinigung der Substanzen.

Um vollständig wasserfreien Alkohol zu erhalten, wurde käuflicher absoluter Alkohol mit wasserfreiem Kupfersulfat angesetzt und mehrere Tage hindurch in einem luftdicht verschlossenen Gefäß stehen gelassen. Das Kupfersulfat zeigte keine Spur von Färbung. Der Alkohol war also wasserfrei.

[1]) S. S. 20.

Tabelle II.

Bad: 0°			Bad: 10°			Bad: 20°			Bad: 40°		Bad: 100°	
$u-u'$	S	u'	$u-u'$	S	u'	$u-u'$	S	u'	$u-u'$	S	$u-u'$	S
Apparat I												
3,40	0,0002271	10,09	3,41	0,0002420	20,30	3,50	0,0002585	40,21	3,45	0,0002704	3,51	0,0007590
7,56	5300	10,11	5,20	3721	20,35	5,00	3759	40,25	6,02	4920	5,95	10563
13,00	9255	10,15	7,57	5541	20,38	7,68	5890	40,38	7,21	6147		
		10,50	10,01	7629	20,41	10,21	7911	40,30	12,02	10295		
		10,55	13,55	10621								
Apparat II												
2,50	0,0001890	11,51	3,50	0,0002851	20,38	3,60	0,0003510	40,30	4,00	0,0004800	3,89	0,0008291
10,03	6580	11,55	7,34	5500	20.45	5,19	4685	40,32	6,10	6899	6,03	11305
		11,55	10,52	7600	20,41	7,69	6639	40,40	7,57	8380		
		11,60	11,95	8545	20,50	12,15	10182	40,35	10,13	10880		

Darauf wurde der Alkohol mittels elekrischer Heizung destilliert. Das erste Drittel des Destillats wurde nicht verwendet, um Spuren von Verunreinigungen, die etwa noch im zwar sorgfältig gereinigten Liebigschen Kühler hafteten, zu entfernen. Mit dem Rest des Destillates wurde der ebenfalls sorgfältig gereinigte und getrocknete Ballon *d*[1]) beschickt und dieser darauf sofort angeschmolzen. Um den Alkohol von Luft zu befreien, wurde zuerst die ganze Apparatur bis zum Hahn III[2]) mit Hilfe der Quecksilberpumpe evakuiert. Dann wurde der Ballon *d* in ein pokalförmiges Weinhold'sches Gefäß mit flüssiger Luft getaucht. Nachdem der Alkohol gefroren war, wurde Hahn III geöffnet und der Ballon mit Hilfe der Quecksilberpumpe sorgfältig evakuiert, darauf Hahn III geschlossen, das Gefäß mit flüßiger Luft entfernt und der Alkohol durch vorsichtiges Erwärmen aufgetaut Wieder wurde dann der Alkohol durch flüßige Luft zum Gefrieren gebracht, sämtliche Luft abgepumpt, dann wieder aufgetaut u. s. f. Es wurde damit solange fortgefahren, bis merklich gar keine Luft mehr abgepumpt werden konnte. Der im Ballon befindliche Alkohol konnte dann als rein bezeichnet werden. Die Einfüllung des Dampfes in die Apparate wurde sofort vorgenommen und unmittelbar darauf mit den Wärmeleitungsversuchen begonnen.

Nachdem die Alkoholdampfbeobachtungen beendet waren, wurde der Ballon unterhalb des Hahnes III abgeschnitten und der Dampf mit Hilfe einer Gaede'schen Kapselpumpe, die an das Ansatzrohr *c* angeschlossen war, aus den Apparaten entfernt. Diese wurden darauf wiederholt mit trockener Luft unter Erwärmung des Bades auf 100° und Erhitzen der Drähte gespült und zuletzt sorgfältig mit Hilfe der Töpler-Hagen'schen Quecksilberpumpe evakuiert.

Zu gleicher Zeit wurde der Ballon gereinigt, mit mehrmals destilliertem Wasser beschickt und wieder angeschmolzen. Die Entfernung der Luft aus dem Wasser geschah wie beim Alkohol durch öfteres Frierenlassen unter gleichzeitigem Eva-

[1]) Fig. IV.
[2]) Fig. III.

kuieren. Statt der flüssigen Luft wurde hier eine Kältemischung von geschabtem Eis und Kochsalzlösung angewandt. Auch hier wurde sofort Dampf in die Apparate eingeführt und mit den Versuchen begonnen.

Nach Abschluß der Wasserdampfbeobachtungen wurde die Reinigung des Benzols vorgenommen. Angewendet wurde käuflicher, als thiophenfrei bezeichnetes Benzol. Herr Prof. Dr. H. Schulze hatte die Liebenswürdigkeit, dieses Benzol auf Thiophengehalt zu prüfen, wofür ich auch an dieser Stelle meinen ergebenen Dank ausspreche. Es erwies sich als vollständig thiophenfrei. Zur Wasserentziehung wurde es mehrere Tage hindurch über Chlorcalcium stehen gelassen. Zuletzt wurden einige Scheiben metallisches Natrium ins Benzol geworfen. Es zeigten sich kaum Spuren von Wasserstoffbläschen Das Benzol war also merklich wasserfrei. Es wurde mittels elektrischer Heizung destilliert, wobei wieder der erste Teil des Destillates nicht zur Verwendung kam. Der Ballon *d* war währenddessen abgeschnitten und gründlich getrocknet worden; ebenso waren die Apparate, nachdem mit Hilfe der Kapselpumpe der Wasserdampf entfernt worden war, wiederholt mit trockener Luft gespült und mehrere Tage hindurch in einem Bad von Siedetemperatur unter öfterem starken Erhitzen der Metalldrähte gehalten worden, während ständig Luft abgepumpt wurde. Nach Beendigung der Destillation des Benzols wurde es sofort in den Ballon eingefüllt und dieser möglichst schnell angeschmolzen. Das Benzol wurde auf genau dieselbe Weise von Luft befreit wie vorher der Alkohol. Nach Einfüllung des Benzoldampfes in die Apparate wurden sofort die Wärmeeitungsversuche vorgenommen.

8. Versuche mit Alkoholdampf.

Die Einfüllung des Alkoholdampfes von beliebigem Druck in die gut evakuierten Apparate geschah durch wiederholtes vorsichtiges Oeffnen des Hahns III bei geöffnetem Hahn I, während der ganze Teil der Apparatur bis zum Hahn IV ab-

geschlossen blieb. Falls höherer, als der Zimmertemperatur entsprechender Druck des Dampfes gewünscht wurde, wurde Ballon *d* durch ein Wasserbad erwärmt. Der Dampfdruck wurde am Manometer *e*[1]) abgelesen.

Es wurden fünf verschiedene Dampffüllungen untersucht von den Drucken:

I. 5,5 mm
II. 10,4 „
III. 22,8 „
IV. 31,1 „
V. 40,0 „

Die beobachteten Werte sind in den Tabellen III bis VI zusammengestellt.

Die Werte *k* entsprechen nach Schleiermacher den Temperaturen $t = u' + \frac{u - u'}{2}$. Aus den bei Zimmertemperatur und den bei der Badtemperatur von 40° beobachteten Werten *k* läßt sich mit Hilfe der Relation:

$$k_t = k_o (1 + \alpha t)^n,$$ [1])

wobei $\alpha = 0{,}00367$, $t = u' + \frac{u - u'}{2}$ bedeutet, der Temperaturkoeffizient *n* der Wärmeleitung berechnen. Wenn k_{t_1} = dem bei Zimmertemperatur, k_{t_2} = dem bei 40° beobachteten Wärmeleitungskoeffizienten ist, bestehen die beiden Relationen:

$$k_{t_1} = k_o (1 + \alpha t_1)^n$$
$$k_{t_2} = k_o (1 + \alpha t_2)^n$$

daraus folgt:

$$lg \frac{k_{t_1}}{k_{t_2}} = n \cdot lg \frac{1 + \alpha t_1}{1 + \alpha t_2}$$

also ist:

$$n = \frac{lg\, k_{t_2} - lg\, k_{t_1}}{lg\,(1 + \alpha t_2) - lg\,(1 + \alpha t_1)}.$$

Die aus den beobachteten Werten berechneten *n* wurden in Tabelle VII zusammengestellt:

---

[1]) Fig. IV.
[1]) O. E. Meyer, a. a. O., S. 218.

Tabelle VII.

Apparat I		Apparat II	
p	n	p	n
10,4	1,6003	10,4	1,6217
	1,6118		1,6276
22,8	1,6239	22,8	1,6180
	1,6258		1,6156
31,1	1,5976	31,1	1,6561
	1,6350		1,6231
40,0	1,6262	40,0	1,6001
	1,6183		1,6160

Hieraus ergeben sich die Mittelwerte:

$$n_{\text{Apparat I}} = 1{,}6174 \qquad n_{\text{Apparat II}} = 1{,}6224,$$

und ich erhalte als Temperaturkoeffizienten des Wärmeleitungsvermögens von Alkoholdampf: $n = 1{,}6199$.

Mit Hilfe dieses Koeffizienten wurden die Werte k_t auf 0^0 reduziert und in Tabelle VIII zusammengestellt:

Tabelle VIII.

Apparat I		Apparat II	
p	k_o	p	k_o
5,5	0,000029730	5,5	0,000030086
	30558		30443
10,4	30636	10,4	30581
	30526		30447
22,8	31171	22,8	30699
	31131		31024
31,1	31338	31,1	30731
	30994		31087
40,0	31434	40,0	31417
	31091		31036

Hieraus folgt:

$$k_{0,\ \text{Apparat I}} = 0{,}000030755$$
$$k_{0,\ \text{Apparat II}} = 0{,}000030861.$$

Tabelle III.

Apparat I — Bad: Zimmertemperatur.

p	u'	u	$u-u'$	Q	S	L	$\frac{L}{u-u'}$	k
5,5	21,61	26,74	5,13	0,0107666	0,0003805	0,00103861	0,0020246	0,000034529
	21,62	30,48	8,86	190280	6920	183360	20695	35296
10,4	17,82	23,73	5,91	123800	4425	119375	20199	34448
	17,89	26,52	8,63	181530	6610	174920	20269	34569
22,8	19,66	25,29	5,63	119440	4200	115240	20467	34906
	19,71	29,30	9,59	207410	6840	200570	20914	35669
31,1	18,95	25,37	6,42	136159	4849	131310	20452	34881
	19,02	28,94	10,02	217145	7700	209445	20903	35649
40,0	20,28	25,66	5,38	116990	4000	112990	21002	35819
	20,32	30,55	10,23	223110	7980	215130	21029	35864

Tabelle IV

Apparat II — Bad: Zimmertemperatur.

p	u'	u	$u-u'$	Q	S	L	$\frac{L}{u-u'}$	k
5,5	21,73	27,62	5,89	0,0106510	0,0005340	0,0101170	0,0017176	0,000034212
	22,14	31,82	9,68	181360	8310	173050	17877	35609
10,4	18,87	25,80	6,93	127066	5965	121100	17475	34807
	19,02	29,93	10,91	201205	8983	192222	17619	35094
22,8	19,40	25,88	6,48	121100	5690	115410	17810	35475
	19,59	30,18	10,59	199000	8790	190210	17952	35773
31,1	18,80	25,08	6,27	117262	5450	111812	17833	35520
	18,83	29,39	10,56	197185	8681	188504	17851	35556
40,0	20,09	25,14	5,05	095290	4602	090688	17958	35769
	20,16	36,31	10,15	191370	8490	182880	18017	35887

Tabelle V

Apparat I

Bad: 40°.

p	u'	u	$u-u'$	Q	S	L	$\frac{L}{u-u'}$	k
10,4	40,56	46,08	5,52	0,0130040	0,0004520	0,0125520	0,0022739	0,000038781
	40,52	50,53	10,01	237920	8530	229390	22917	39084
22,8	40,51	47,87	7,36	175125	6069	169056	22970	39175
	40,52	50,95	10,43	252910	8870	244040	23398	39995
31,1	40,42	46,83	6,41	151874	5264	146610	22885	39030
	40,57	50,76	10,19	247530	8630	238900	23445	39986
40,0	40,76	47,58	6,82	165932	5610	160322	23507	40092
	40,51	50,97	10,46	253590	8870	244720	23395	39901

Tabelle VI.

Apparat I.

Bad: 40°.

p	u'	u	$u-u'$	Q	S	L	$\frac{L}{u-u'}$	k
10,4	40,46	45,41	4,95	0,0102326	0,0005810	0,0096516	0,0019498	0,000038836
	40,45	51,06	10,61	223225	1400	209225	19719	39277
22,8	40,41	46,62	6,21	130605	7075	123530	19892	39622
	40,31	50,92	10,61	224435	11405	213030	20078	39992
31,1	40,46	46,46	6,00	127195	6801	120394	20066	39968
	40,51	50,56	10,05	211764	10850	200914	19991	39819
40,0	40,52	46,26	5,74	121951	6625	115326	20022	39880
	40,59	51,04	10,45	221000	11240	209760	20072	39981

9. Versuche mit Wasserdampf.

Es wurden Beobachtungen angestellt mit Wasserdampf von I. 4,7 mm, II. 14,7 mm, III. 30,3 mm Druck. Die beobachteten Werte sind in den Tabellen IX. bis XII. zusammengestellt.

Der Temperaturkoeffizient n wurde aus den beobachteten Werten berechnet:

Tabelle XIII

	Apparat I	Apparat II
p	n	n
4,7	0,85524	0,89394
	0,86480	0,87782
14,7	0,87978	0,87404
	0,86986	0,86920
30,3	0,85664	0,87228
	0,87948	0,86508

Daraus folgt: $n_{\text{Apparat I}} = 0{,}86763$

$n_{\text{Apparat II}} = 0{,}87531,$

und es ergibt sich für den Temperaturkoeffizienten n der Wärmeleitung des Wasserdampfes der Wert: $n = 0{,}87147$

Die mit Hilfe von n auf 0^0 reducierten k sind in Tabelle XIV. zusammengestellt:

Tabelle XIV.

	Apparat I	Apparat II
p	k_0	k_0
4,7	0,000039981	0,000039777
	39835	39787
14,7	40330	40193
	40359	40018
30,3	41164	40764
	41656	40714

Es ist also: $k_{0,\ \text{Apparat I}} = 0{,}000040554$

$k_{0,\ \text{Apparat II}} = 0{,}000040209$

Apparat I. **Tabelle IX.** Bad: Zimmertemperatur.

p	u'	u	$u-u'$	Q	S	L	$\frac{L}{u-u'}$	k
4,7	18,23	23,88	5,65	0,0145550	0,0004221	0,0141329	0,0025014	0.000042661
	18,42	28,21	9,79	253210	7590	245620	25089	42790
14,7	17,51	24,00	6,49	168460	4850	163610	25210	42995
	17,51	27,80	10,29	268969	7903	261066	25371	43269
30,3	32,11	37,97	5,86	161855	4690	157165	26820	45741
	32,24	42,46	10,22	287510	8320	279190	27318	46591

Apparat II. **Tabelle X.** Bad: Zimmertemperatur.

4,7	18,49	25,58	7,09	0,0157530	0,0006010	0,0151520	0,0021371	0,000042567
	18,58	29,32	10,74	239690	8810	230880	21497	42818
14,7	17,51	24,46	6,95	155496	5882	149614	21528	42879
	17,55	28,14	10,59	236745	8505	228240	21552	42928
30,3	32,39	39,19	6,80	161811	6843	154968	22789	45392
	32,21	43,32	11,11	264847	10557	254290	22888	45590

Apparat I. **Tabelle XI.** Bad: 40°

p	u'	u	$u-u'$	Q	S	L	$\frac{L}{u-u'}$	k
4,7	40,31	46,18	5,87	0,0160851	0,0004580	0,0156271	0,0026622	0,000045403
	40,41	50,74	10,33	284706	8750	275956	26714	45561
14,7	40,28	45,88	5,60	155225	4636	150589	26891	45862
	40,26	50,35	10,09	281613	8593	273020	27058	46148
30,3	40,26	46,54	6,28	177624	5280	172344	27444	46804
	39,91	50,13	10,22	293960	8700	285260	27912	47603

Apparat II. **Tabelle XII.** Bad: 40°

4,7	40,60	47,09	6,49	0,0155150	0,0007310	0,0147840	0,0022780	0,000045373
	40,41	51,08	10,67	255520	11420	244100	22822	45568
14,7	40,50	47,27	6,77	163231	7599	155632	22988	45789
	40,54	51,37	10,83	260844	11638	249206	23011	45833
30,3	39,91	46,86	6,95	169330	7790	162040	23316	46441
	40,12	51,83	11,71	286607	12457	274150	23412	46631

10 Versuche mit Benzoldampf.

Es wurden fünf verschiedene Dampffüllungen untersucht, von: I. 6,5 mm, II. 13,6 mm, III. 25,2 mm, IV. 45,6 mm, V. 71,4 mm Druck.

Die aus den Beobachtungen berechneten Werte sind in Tabelle XV. bis XVIII. zusammengestellt.

Für den Temperaturkoeffizienten ergeben sich die folgenden Werte:

	Apparat I	Apparat II
p	n	n
6,5	2,2241	2,2160
	2,2307	2,2334
13,6	2,2583	2,2345
	2,2606	2,2121
25,2	2,2562	2,2507
	2,2345	2,2825
45,6	2,2442	2,2639
	2,2704	2,2679
71,4	2,2682	2,2713
	2,2693	2,2593

Tabelle XIX

Ich erhalte die Mittelwerte:

$$n_{\text{Apparat I}} = 2{,}2517$$
$$n_{\text{Apparat II}} = 2{,}2492,$$

also für den Temperaturkoeffizienten der Wärmeleitung des Bezoldampfes den Wert: $n = 2{,}2505$

Daraus ergeben sich dann die in Tabelle XX. zusammengestellten k_0:

	Apparat I	Apparat II
p	k_3	k_0
6,5	0,000019492	0,000019708
	19482	19599
13,6	19695	19866
	19613	19604
25,2	19867	19441
	19756	19599
45,6	19995	19806
	20087	20036
71,4	20291	20004
	20149	20078

Tabelle XX.

Daraus folgt: $k_{0,\text{Apparat I}} = 0{,}000019843$
$k_{0,\text{Apparat II}} = 0{,}000019724.$

Tabelle XV.

Apparat I — Bad: Zimmertemperatur.

p	u'	u	$u-u'$	Q	S	L	$\frac{L}{u-u'}$	k
6,5	14,66	20,37	5,71	0,0079198	0,0004115	0,0075083	0,0013149	0,000022426
	15,65	24,77	9,12	129185	6812	122373	13418	22885
13,6	15,85	22,10	6,25	88606	4621	83985	13438	22918
	16,12	25,97	9,85	141410	7480	133930	13597	23189
25,2	17,50	24,27	6,77	98206	5080	93126	13756	23460
	17,70	28,40	10,70	157054	8251	148803	13907	23718
45,6	16,83	24,35	7,52	109484	5611	103873	13813	23558
	17,28	28,36	11,08	164915	8525	156390	14115	24072
71,4	19,73	26,81	7,08	106695	5405	101290	14307	24400
	19,65	30,34	10,69	162255	8375	153880	14395	24550

Tabelle XVI.

Apparat II — Bad: Zimmertemperatur.

p	u'	u	$u-u'$	Q	S	L	$\frac{L}{u-u'}$	k
6,5	16,32	22,40	6,08	0,0075321	0,0005115	0,0070206	0,0011547	0,000023000
	15,99	25,96	9,97	123880	7950	115930	11627	23160
13,6	14,00	20,74	6,74	80703	4990	75713	11233	22375
	14,76	25,71	10,95	135131	8501	126630	11565	23035
25,2	16,22	23,81	7,59	93188	6298	86890	11448	22803
	16,53	28,26	11,73	147220	6340	137880	11754	23413
45,6	14,99	23,10	8,11	100381	6499	93882	11576	23057
	15,39	27,53	11,14	141830	8810	133020	11941	23784
71,4	19,82	27,18	7,36	95355	6310	89045	12098	24098
	19,80	30,74	10,94	143741	9101	134640	12307	24514

Tabelle XVII.

Apparat I — Bad: 40°.

p	u'	u	$u-u'$	Q	S	L	$\frac{L}{u-u'}$	k
6,5	40,56	46,31	5,75	0,0096086	0,0004640	0,0091446	0,0015903	0,000027123
	40,40	49,56	9,16	155000	7600	147340	16085	27433
13,6	40,32	46,22	5,90	99845	4850	94995	16101	27460
	40,29	50,00	9,71	166021	8211	157810	16252	27718
25,2	40,50	46,50	6,00	102571	4989	97582	16264	27738
	40,61	50,84	10,23	176544	8719	167825	16405	27979
45,6	40,55	46,80	6,25	107451	5130	102321	16372	27928
	40,30	50,75	10,45	183496	8880	174616	16709	28498
71,4	40,51	46,83	6,32	110383	5195	105188	16644	28386
	40,56	50,36	9,80	172356	8301	164055	16740	28550

Tabelle XVIII.

Apparat II — Bad: 40°.

p	u'	u	$u-u'$	Q	S	L	$\frac{L}{u-u'}$	k
6,5	40,74	46,89	6,15	0,0091730	0,0006850	0,0084880	0,0013802	0,000027490
	40,54	50,24	9,70	145303	10481	134822	13899	27685
13,6	40,51	47,25	6,74	99130	7550	91580	13587	27064
	40,59	50,52	9,93	148750	10780	137970	13894	27674
25,2	40,56	47,36	6,80	100591	7651	92940	13667	27223
	40,56	51,46	10,90	164390	11640	152750	14014	27913
45,6	40,33	48,06	7,73	116230	8510	107720	13935	27756
	40,27	51,64	11,37	174750	12095	162655	14306	28495
71,4	40,49	47,02	6,53	92555	7350	91820	14061	28008
	40,47	49,66	9,19	140822	10012	130810	14234	28352

11. Korrektionen.

An den beobachteten Werten sind noch verschiedene Verbesserungen anzubringen. Fehlerquellen sind: die Ableitung der im Draht entwickelten Wärme durch Drahtenden und Elektroden, die schlechte Leitfähigkeit des Glases, der Temperatursprung an der Glaswand und die Absorption der ausgestrahlten Wärme durch die Dämpfe.

Wegen der Ableitung durch die Elektroden [1]) waren die Werte k_0 zu verkleinern um:

	Apparat I	Apparat II
für Alkoholdampf:	$\frac{1}{170}$	$\frac{1}{185}$
für Wasserdampf:	$\frac{1}{181}$	$\frac{1}{200}$
für Benzoldampf:	$\frac{1}{140}$	$\frac{1}{159}$

Die Ableitung durch die Drahtenden [1]) war so unbedeutend, daß sie zu vernachlässigen war.

Auch die Korrektion wegen der schlechten Leitfähigkeit des Glases [1]) war bei sämtlichen beobachteten Substanzen so gering, daß sie unberücksichtigt bleiben konnte.

Der Einfluß des Temperatursprungs wurde in der von W. Arnold [2]) angegebenen Weise bestimmt. Ich berechnete den Temperatursprungskoeffizienten λ nach der v. Smoluchowskischen Formel: [3])

$$\lambda = \frac{ln\frac{R}{r}}{\frac{1}{R} + \frac{1}{r}}\left[\frac{\overline{Lo}}{\overline{L}} - 1\right],$$

wobei ich bezeichnete: mit R den inneren Radius der Röhre, mit r den Radius des Drahtes, mit $\overline{Lo}$ den Wert von k_0 für die höchsten beobachteten Drucke und mit $\overline{L}$ den Wert von k_0 für geringe Drucke. Ich erhielt so die folgenden Werte:

[1]) W. Schwarze, a. a. O., S. 28.
[2]) W. Arnold, Inaug.-Diss., Halle 1913, S. 29.
[3]) v. Smoluchowski, Wied. Ann., 64, 1898, S. 129

$$\lambda_{\text{Alkohol}} = 0{,}00017238 \cdot \frac{760 \text{ mm}}{p}$$

$$\lambda_{\text{Wasser}} = 0{,}00013086 \cdot \frac{760 \text{ mm}}{p}$$

$$\lambda_{\text{Benzol}} = 0{,}00016780 \cdot \frac{760 \text{ mm}}{p}$$

Die molekulare Weglänge l der Dämpfe beträgt:

$$l_{\text{Alkohol}} = 0{,}0000330 \cdot \frac{760 \text{ mm}}{p}$$ [1])

$$l_{\text{Wasser}} = 0{,}0000580 \cdot \frac{760 \text{ mm}}{p}$$ [1])

$$l_{\text{Benzol}} = 0{,}0000220 \cdot \frac{760 \text{ mm}}{p}$$ [1])

Daraus ergibt sich das Verhältnis des Temperatursprungskoeffizienten zur mittleren Weglänge: $\beta = \frac{\lambda}{l}$.

$$\beta_{\text{Alkohol}} = 5{,}224$$

$$\beta_{\text{Wasser}} = 2{,}256$$

$$\beta_{\text{Benzol}} = 7{,}627.$$

Von einer Abnahme des Quotienten β mit zunehmendem Molekulargewicht, wie sie W. Arnold [2]) feststellen zu können glaubte, ist hier nichts zu bemerken.

Um den Einfluß der Absorption der ausgestrahlten Wärme durch die Dämpfe zu bestimmen, berechnete ich zuerst die Wellenlänge maximaler Strahlungsenergie für die Wärmeleitungsversuche. Nach dem Wien'schen Gesetz [3]) für die schwarze Strahlung besteht zwischen der Wellenlänge maximaler Strahlungsenergie und der absoluten Temperatur des wärmeausstrahlenden Körpers die Beziehung:

$$\lambda_m \cdot T = \text{const.}$$

$$\lambda_m \cdot T = 2940.$$ [4])

Hiernach berechnete ich die Wellenlänge maximaler Strahlungsenergie λ_m für meine Versuche als ungefähr $= 10\,\mu$.

---

[1]) Puluj, Wien. Ber. 2, 78, 279, 1878.

[2]) a. a. O., S. 31.

[3]) Wied. Ann., 52, 132, 1894.

[4]) Lummer u. Pringsheim, Verh. Physik. Ges., Berlin, 2, 169, 1900.

Nun ist aber nach Angström[1]) für $\lambda = 10\,\mu$ die Absorption des Benzoldampfes sehr gering. Ebenfalls fanden Rubens und Aschkinaß[2]) für Wasserdampf zwischen $\lambda = 9\,\mu$ und $\lambda = 11\,\mu$ ein Minimum der Absorption. Nach der von ihnen angegebenen Kurve beträgt sie für Strahlungswärme dieser Wellenlängen höchstens 5 %. Die Absorption des Alkoholdampfes beträgt nach den Untersuchungen von E. Lecher und I. Pernter[3]), die eine Wärmequelle von 100° benutzten, durchschnittlich 3 %.

Da nun aber die gesamte Strahlungsmenge bei den Versuchen mit Alkoholdampf höchstens 4 %, mit Wasserdampf 3 %, mit Benzoldampf 5 % der ganzen im Draht in der Sekunde erzeugten Wärmemenge beträgt, die Absorption aber nur einen so geringen Prozentsatz der Strahlung, so ergibt sich der Einfluß der Absorption auf das Gesamtresultat als so gering, daß er vernachlässigt werden kann.

12. Ergebnis.

Es wurden zuerst an den Werten k_0 die Korrektionen wegen des Temperatursprungs angebracht und die so verbesserten Werte in den Tabellen XXI bis XXIII zusammengestellt:

Tabelle XXI. Alkohol.

	Apparat I	Apparat II
p	k_0	k_0
5,5	0,000031216	0,000030810
	31586	31668
10,4	31169	31204
	31033	31093
22,8	30965	31430
	31290	31389
31,1	30924	31527
	31281	31180
40,0	31570	31581
	31186	31236

[1]) Winkelmann, Hdb. d. Phys., 2. Aufl. 1906, Bd. III, S. 357.
[2]) Wied. Ann. 64, 584, 1898.
[3]) Wied. Ann. 12, 180, 1881.

Tabelle XXII.

Wasser.

	Apparat I	Apparat II
p	k_0	k_0
4,7	0,000041304	0,000041051
	41153	41061
14,7	40740	40586
	40769	40410
30,3	41365	40956
	41860	40906

Tabelle XXIII.

Benzol.

	Apparat I	Apparat II
p	k_0	k_0
6,5	0,000020087	0,000020290
	20077	20178
13,6	19974	19631
	19892	19872
25,2	20017	19583
	19906	19742
45,6	20078	19885
	20170	20116
71,4	20330	20055
	20189	20129

Daraus berechneten sich die in Tabelle XXIV zusammengestellten Mittelwerte:

Tabelle XXIV.

	Apparat I	Apparat II
Substanz	k_0	k_0
Alkohol	0,000031222	0,000031312
Wasser	0,000041199	0,000040828
Benzol	0,000020072	0,000019948

An diesen wurden die übrigen Korrektionen angebracht, und es ergaben sich als endgültige Werte für die Wärmeleitungskoeffizienten der untersuchten Dämpfe:

$$k_{0,\,\text{Alkohol}} = 0{,}00003109$$
$$k_{0,\,\text{Wasser}} = 0{,}00004080$$
$$k_{0,\,\text{Benzol}} = 0{,}00001988.$$

Zur Kontrolle wurden die von mir beobachteten und berechneten Wärmeleitungskoeffizienten für Alkohol- und Wasserdampf mit unveröffentlichten, im Jahre 1911 von Herrn Albrecht nach der Schleiermacherschen Methode, aber mit anderen Apparaten beobachteten und von mir berechneten Koeffizienten verglichen. Den oben angegebenen k_0 entsprechen die Albrechtschen Werte:

$$k_{0,\,\text{Alkohol}} = 0{,}00003095$$
$$k_{0,\,\text{Wasser}} = 0{,}00004104$$

die Uebereinstimmung kann als gut bezeichnet werden.

Weniger gute Uebereinstimmung besteht zwischen den von mir und den von E. Moser[1]) im Jahre 1913 nach der der Schleiermacherschen nachgebildeten Euckenschen Methode[2]) bestimmten Wärmeleitungskoeffizienten. Ich verglich die Werte k für Alkoholdampf bei 20° und für Benzoldampf bei 46°, da diese Beobachtungstemperaturen Mosers den von mir angewendeten am nächsten kommen.

Es entsprechen den von mir beobachteten Werten:

$$k_{20,\,\text{Alkohol}} = 0{,}0000349$$
$$k_{46,\,\text{Benzol}} = 0{,}0000284$$

die Moserschen Werte:

$$k_{20,\,\text{Alkohol}} = 0{,}0000358$$
$$k_{46,\,\text{Benzol}} = 0{,}0000294.$$

Die Wärmeleitungskoeffizienten Mosers sind also erheblich größer, für Alkoholdampf um 2,5 %, für Benzoldampf um 3,4 %, als die aus meinen Beobachtungen berechneten. Bei 0°, auf welche Temperatur Moser seine Werte extrapoliert hat, ist der

[1]) E. Moser, Inaug.-Diss., Berlin 1913.
[2]) Phys. Zeitschr. XII., 1911, 1107.

Unterschied noch etwas größer. Eine Vergleichung des Koeffizienten für Wasserdampf erübrigt sich, da Moser seinen Wert selbst als unsicher bezeichnet

Beobachtungen mit Luft, die ich vor Beginn meiner Hauptversuche ausführte, ergaben den mit dem Schwarzeschen[1]) Wert befriedigend übereinstimmenden Wärmeleitungskoeffizienten für Luft bei 0°:

$$k_{0,\,\text{Luft}} = 0{,}00005674.$$

13. Vergleich von Ergebnis und Theorie.

Zur Berechnung des Quotienten $f = \frac{k}{\eta \cdot c_v}$ entnahm ich die Werte für den Reibungskoeffizienten aller drei Substanzen der Abhandlung von H. Vogel[2]):

$$\eta_{0,\,\text{Alkohol}} = 0{,}0000830$$
$$\eta_{0,\,\text{Wasser}} = 0{,}0000907$$
$$\eta_{0,\,\text{Benzol}} = 0{,}0000760.$$

Die c_v berechnete ich aus den den Landolt-Börnsteinschen Tabellen[3]) entnommenen, experimentell bestimmten $\lambda = \frac{c_p}{c_v}$ und c_p, und zwar extrapolierte ich c_p für Alkohol- und Benzoldampf aus den von Regnault und Thibaut, für Wasserdampf aus den von Regnault und Holborn und Henning beobachteten Werten. Ich erhielt:

$$c_{v,\,\text{Alkohol}} = 0{,}27$$
$$c_{v,\,\text{Wasser}} = 0{,}35$$
$$c_{v,\,\text{Benzol}} = 0{,}20.$$

Demnach ergaben sich für den Quotienten $f = \frac{k}{\eta \cdot c_v}$ die Werte:

$$f_{\,\text{Alkohol}} = 1{,}39$$
$$f_{\,\text{Wasser}} = 1{,}28$$
$$f_{\,\text{Benzol}} = 1{,}42.$$

---

[1]) a. a. O.

[2]) Ann. d. Phys. 43, 1914, S. 1258.

[3]) Landolt-Börnstein, Phys.-Chem. Tabellen, 4. Auflage, 1912, S. 774 bis 778.

Nach der Boltzmannschen Formel würden sich die entsprechenden Werte berechnen zu:

0,487 1,012 0,375.

Sie stimmen nicht einmal der Größenordnung nach mit den experimentell bestimmten überein.

Die Euckensche Formel ergibt nach der Berechnung von E. Moser, der f in den Grenzen $f_s = 1{,}5$ und $f_s = 1$ berechnete:

$f_{\text{Alkohol}} = 1{,}36$ bis $1{,}62$
$f_{\text{Wasser}} = 1{,}734$ bis $1{,}741$
$f_{\text{Benzol}} = 1{,}285$ bis $1{,}594$.

In Uebereinstimmung mit Herrn Moser erhalte ich das Resultat: die experimentell bestimmten $f = \frac{k}{\eta \cdot c_v}$ für Alkohol- und Benzoldampf liegen innerhalb dieser Grenzwerte, während f_{Wasser} erheblich kleiner ist als der nach der Euckenschen Formel berechnete Wert, was auf einen unvollkommenen Austausch der intramolekularen Energie beim Zusammenstoß der einzelnen Moleküle des Wasserdampfes schließen läßt.

Die vorliegenden Beobachtungen wurden von Oktober 1914 bis Februar 1916 im Physikalischen Institut der Universität Halle ausgeführt.

Angeregt wurde die Arbeit durch meinen hochverehrten Lehrer, den am 13. Juni 1916 verstorbenen Herrn Geheimen Regierungsrat Professor Dr. E. Dorn. Ich bin ihm hierfür, sowie für die Güte, mit der er jederzeit bereit war, durch seinen Rat und seine Hilfe ihre Ausführung zu fördern, zu tiefem Dank verpflichtet.

Aufrichtigen Dank sage ich Herrn Prof. Dr. K. E. F. Schmidt für die gütige Uebernahme des Referates und das wohlwollende Interesse, welches er meiner Arbeit entgegengebracht hat.

Lebenslauf.

Am 4. März 1891 wurde ich, Katharina Putzki, in Trachenberg in Schlesien als Tochter des Pastors Adolf Putzki geboren. Ich bin evangelischer Konfession und preussischer Staatsangehörigkeit. Bis Ostern 1901 wurde ich von meinem Vater unterrichtet. Von da an bis Ostern 1905 besuchte ich die „Höhere Privatschule“ in Pretzch a. Elbe. Von Ostern 1905 bis Herbst 1908 unterrichtete mich mein Vater wieder selbst und bereitete mich für die Obersekunda des Realgymnasiums vor. Von Herbst 1908 an besuchte ich die „Realgymnasialkurse für Mädchen“ des Allgemeinen Deutschen Frauenvereins unter Leitung des Fräul. Dr. phil Käthe Windscheid in Leipzig und bestand am 13. März 1911 die Reifeprüfung am städtischen Realgymnasium „Petrischule“ in Leipzig Ich studierte darauf in Leipzig, Heidelberg und Halle Mathematik und Naturwissenschaften.

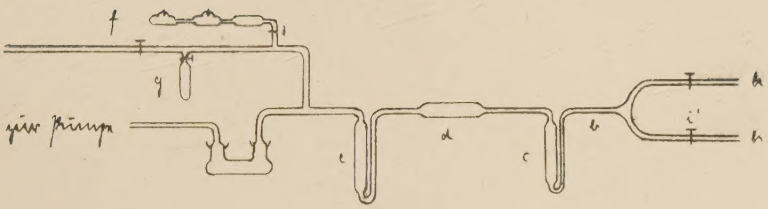
Meine Lehrer waren die Herren Professoren und Dozenten:

in Leipzig: Koebe, Rohn, Wiener.
in Heidelberg: Becker, Boehm, Königsberger, Naumann, Wülfing.
in Halle: Dorn, Eberhard, Fehr, Gutzmer, Krueger, Lütgert, Menzer, Schmidt, Schulze, Tubandt, Vorländer, Wangerin, Wigand.

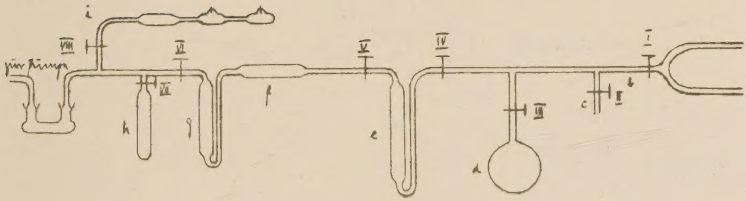
Allen diesen meinen verehrten Lehrern bin ich zu grossem Dank verpflichtet.

Figuren-Tafel.

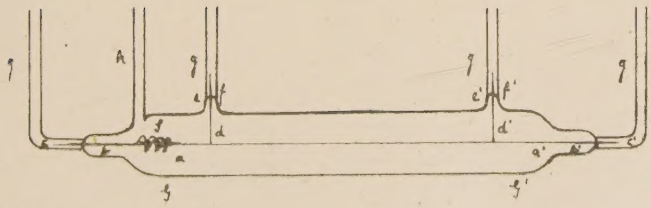
Figur 1.



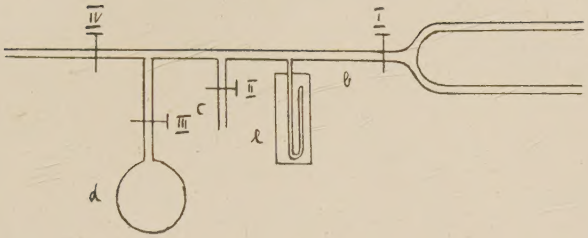
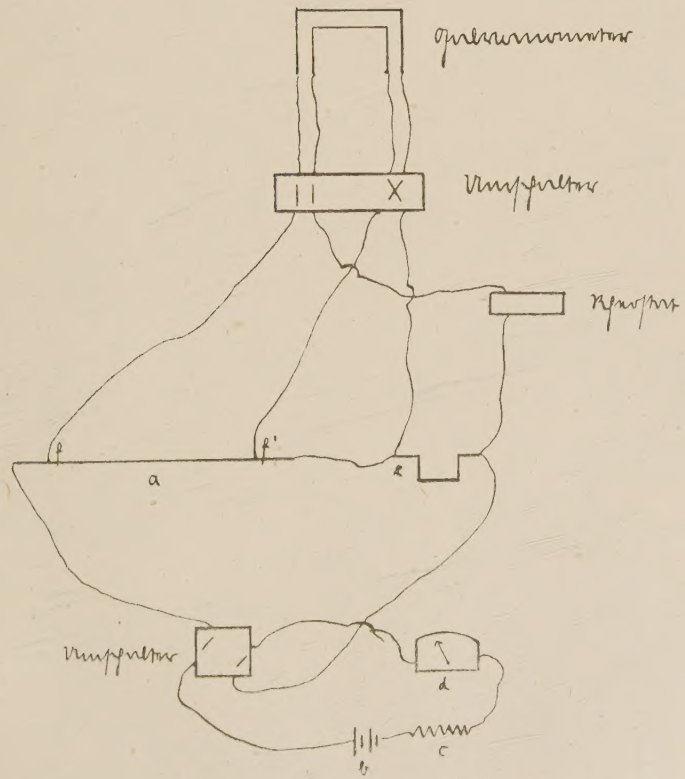
Figur 2.



Figur 3.



Figur 4.



Figur 5.